

## ارزیابی آسیب پذیری مدارس با رویکرد پدافند غیر عامل در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر کرمان)

عبدالرضا کاظمی نیا کرانی<sup>۱</sup>؛ علی اسماعیل زاده<sup>۲</sup>

۱- دانشگاه صنعتی سیرجان، دانشکده مهندسی عمران (نویسنده مسئول)

۲- دانشگاه صنعتی سیرجان

دریافت دست نوشته: ۱۴۰۲/۰۶/۰۲؛ پذیرش دست نوشته: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰

چکیده	واژگان کلیدی
<p>یکی از گام‌های اساسی در برنامه‌ریزی‌های آموزشی، انتخاب مکان‌های بهینه برای مدارس با توجه به اهداف و معیارهای مختلف است؛ به گونه‌ای که ضمن برخورداری مراکز از توزیع فضایی مناسب و تخصیص متعادل، ناسازگاری بین کاربری‌ها نیز در سطح منطقه کاهش یابد. همچنین قرار گرفتن مدارس در محل‌های امن و با آسیب‌پذیری کمتر نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این تحقیق تلاش شده است ضمن تدوین بانک جامع اطلاعات مکانی مدارس شهر کرمان، با توجه به حساسیت این مراکز، وضعیت آسیب‌پذیری و تحلیل عملکرد آنها در زمان قبل از بحران زلزله مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این هدف از معیارهای سازه‌ای مدارس، مقاومت زمین و فاصله از مراکز انفجاری مانند پمپ‌گاز/بنزین استفاده گردید. هر کدام از این معیارها بر اساس روش سلسله‌مراتبی معکوس (روش وزن‌دهی معیارهای انتخابی) در محیط GIS وزن‌دهی و به یک لایه اطلاعاتی تبدیل شده و نقشه‌های حاصله با هم تلفیق و مدارس آسیب‌پذیر شهر کرمان مشخص گردیدند. نتیجه این تحقیق نشان داد که ۲۳ درصد مدارس شهر کرمان دارای آسیب‌پذیری بالا، ۳۱ درصد آسیب‌پذیری متوسط و ۴۶ درصد آسیب‌پذیری پایین می‌باشند. مدارس با آسیب‌پذیری بالا عمدتاً در مرکز و منطقه ۱ شهر کرمان واقع شده‌اند. دلیل این امر را می‌توان با توجه به تحقیق حاضر، قدیمی بودن و بالا آمدن آب‌های زیرزمینی در این منطقه دانست که باید در برنامه‌ریزی‌ها مد نظر قرار گیرد.</p>	<p>کرمان، مدارس، تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس، GIS، آسیب‌پذیری</p>

### ۱- مقدمه

عمومی از جمله دسترسی به خدمات آموزشی ایمن است. توزیع فضایی این فعالیت‌ها به لحاظ تأثیر مستقیم آن در آسایش خانوارها از حساسیت زیادی برخوردار است و به‌طور عموم شهرهای ایران به دلیل رشد ناهماهنگ و بدون برنامه از این نظر دچار مسئله و مشکل هستند (امانپور و همکاران، ۱۳۹۳، ص ۳۲). رشد سریع جمعیت و به‌تبع آن رشد افقی شهرها و بالا رفتن قیمت زمین‌های شهری منجر به اختصاص فضاهای نامناسب به برخی از خدمات اساسی مانند مدارس و همراه با آن بالا رفتن جمعیت دانش‌آموزی در شهرها باعث عدم تعادل در عرضه (دانش‌آموز) و تقاضا

ارزیابی و جستجوی مکان بهینه جهت احداث یک یا چند مرکز خدماتی از جمله مسائل مهم در برنامه‌ریزی کاربری اراضی در شهرها محسوب می‌شود (Li & Yeh, 2005, p581). در بررسی مسائل شهری در قالب توسعه پایدار فرض بر این است که چنانچه هزینه‌ای بدون در نظر گرفتن مکانیسم‌های برابری صرفاً توسعه زیرساخت‌ها، تجهیزات و خدمات شهری شود، خود موجب تشدید نابرابری بین اقشار مختلف جمعیت شهری می‌شود (Bolary, 2005, p629). یکی از اهداف مهم برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری تأمین مناسب خدمات

صورت گرفته به برنامه‌ریزان فضاهای آموزشی مدل مناسبی را ارائه می‌دهد که فضاهای آموزشی را در چه زمان و مکانی ایجاد کنند (Moody & Edgell, 2014, p.8). از آنجاکه ۹۰ درصد شهرهای کشور در برابر زلزله آسیب‌پذیرند و در این بین، اهمیت به بررسی آسیب‌پذیری مدارس به‌عنوان عضوی از کالبد شهر، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است، از این‌رو در کرمان نیز مانند دیگر مناطق مستعد زلزله، نیاز است آسیب‌پذیری مدارس ارزیابی شود. از طرفی قرارگیری شهر کرمان بر روی کمربند زلزله آلپ-همالیایا و فاصله ۱۳ کیلومتری شهر تا گسل اصلی و واقع شدن به‌عنوان مرکز استان، لزوم برنامه‌ریزی شهری با در نظر گرفتن اهمیت مراکز آموزشی در برابر آسیب‌های ناشی از بلایای طبیعی غیرمنتظره مانند زلزله را آشکار می‌سازد. این ارزیابی به‌منظور برنامه‌ریزی کارآمد برای ایمن نمودن مدارس موجود در مرحله قبل از رخداد زلزله ضروری است.

پدافند غیرعامل هر اقدام غیرمسلحانه‌ای که موجب کاهش آسیب‌پذیری نیروی انسانی، ساختمان‌ها، تأسیسات، تجهیزات، اسناد و شریان‌های کشور در مقابل عملیات خصمانه و مخرب دشمن گردد، پدافند غیرعامل (*Passive Defense*) خوانده می‌شود. بحث مکان‌یابی در پدافند غیرعامل و انتخاب مکان مناسب و بهینه منطبق با پارامترهای مؤثر بر آن از نقش و اهمیت بسیار زیادی در کاهش میزان آسیب‌های احتمالی ناشی از نیروهای مهاجم، برخوردار است. انتخاب محل استقرار پروژه‌ها اعم از نظامی و غیرنظامی و بررسی ملاحظات دفاعی و امنیتی در کنار دیگر ملاحظات از قبیل: اقتصادی، فنی، فرهنگی، اجتماعی و کاربردی حائز اهمیت است. استقرار اهداف و پروژه‌ها در مکان‌های مناسب و بهینه شرایط لازم را برای اجرا و هدایت طرح‌های مرتبط با استتار، اختفاء، فریب و... فراهم می‌سازد. باید به این نکته توجه داشت که مکان‌یابی نادرست کاربری‌های شهری علاوه بر فلج نمودن اقتصاد یک شهر منجر به آمار بالایی از تلفات انسانی می‌شود.

## ۲- مبانی نظری

هرچه مقر و موقعیت فضاهای آموزشی از نظر بهداشتی، ایمنی و امنیت، ساختار فضایی و کالبدی، فرهنگی و

(مدارس) شده است و در نتیجه این مسئله باعث تراکم بالای دانش‌آموزان در کلاس‌ها و احداث مدارس در مجاورت کاربری‌های ناسازگار، آسیب‌پذیر و تراکم مراکز آموزشی در بخش‌های خاصی از شهر و بروز مشکلات دسترسی به این مراکز و همچنین صرف وقت و هزینه زیاد توسط دانش‌آموزان شده است (فرهودی و نعمتی کو تنایی، ۱۳۸۹، ص ۲۸). از آنجاکه اکثریت خانوارهای شهری در ارتباط با خدمات آموزشی و مراجعات روزانه با آن هستند، بنابراین نه‌فقط ایمنی ساختمان مدارس حائز اهمیت است، بلکه قرارگیری آنها در مکان‌های امن و با آسیب‌پذیری کمتر نیز از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد (پیری و همکاران، ۱۳۹۳). از این‌رو احداث مدارس جدید در مناطق ایمن و نیز انتقال تدریجی مراکز آموزشی واقع در نواحی آسیب‌پذیر به نواحی امن و مقاوم‌سازی ساختمان این مراکز در برابر زلزله از راهکارهایی هستند که به کمک آنها می‌توان سطح ایمنی مراکز آموزشی را ارتقا بخشید. از دلایل دیگر اهمیت مراکز آموزشی نقشی است که می‌توانند پس از بحران‌ها خصوصاً زلزله، به‌منظور اسکان اضطراری، ایفا نمایند (Vaidya et al. 2018, p 623). در مناطق زلزله‌خیز، استفاده از مراکز آموزشی (مدارس) به‌عنوان مراکزی برای تأمین سرپناه فوری ارجحیت دارد، زیرا مکان‌های مناسب با دسترسی آسان، خدمتی است به مردم محلی (جهانگیری و خردمند، ۱۳۹۳، ص ۲). از سویی مراکز آموزشی از نظر تأثیراتی که بر کالبد شهر در هنگام بحران‌ها برجای می‌گذارد، دارای اهمیت بسزایی می‌باشند؛ بنابراین می‌بایست، بهای بیشتری به آنها داده شود (Ishizaka & Labib, 2011, p212). امروزه به علت حجم وسیع اطلاعات و معیارهای مختلف برای ارزیابی مراکز آموزشی (مدارس) و تعیین آسیب‌پذیری آنها، آن‌قدر زیاد است که با روش‌های سنتی نمی‌توان به تحلیل آنها پرداخت (آزادخوانی و نوری‌زاد، ۱۳۹۵، ص ۳۲). در چنین شرایطی کلید حل مسئله، استفاده از تکنیک سیستم‌های اطلاعات مکانی یا GIS است که به‌وسیله آن امکانات فوق‌العاده‌ای را برای گردآوری، ذخیره‌سازی، پردازش، تجزیه و تحلیل و در پایان خروجی‌های مناسب به‌صورت نقشه، جدول، چارت و آمار را فراهم می‌سازد. پیشرفت‌هایی که به‌تازگی در GIS

## ۲-۲- معیارهای مورد استفاده در مدل سازی آسیب پذیری مدارس

عدم رعایت قوانین و مقررات مقاوم سازی، ناپایداری زمین و نداشتن برنامه های اصولی برای رویارویی با بحران های آتی سبب گردید که در ارزیابی و پهنه بندی آسیب پذیری مدارس شهر کرمان سه معیار مقاومت زمین، ویژگی های ساختمانی و فاصله از تأسیسات بحران زا مانند پمپ بنزین، انتخاب شوند. در جدول ۱ مشخصات کلی معیارهای مربوط به مقاومت زمین، ویژگی های ساختمانی و معیار فاصله از تأسیسات بحران زا به همراه طبقه بندی آنها ارائه شده است. معیار خطر روانگرایی رابطه مستقیمی با سطح ایستایی آب های زیرزمینی و رسوبات سست ماسه ای زمین دارد. برای تعیین معیار خطر جنبش زمین از تلفیق یافته های مطالعات میکروترمورها و طبقه بندی بر پایه اطلاعات گمانه ها، استفاده می شود. میکروترمورها لرزش های بسیار ضعیف دائمی زمین هستند که در اثر عوامل مختلفی مانند حرکت ترافیک، وزش باد و غیره ایجاد می شوند (حسن زاده و همکاران در سال ۱۳۸۹). رسوبات زمین بخش های مشخصی از طیف میکروترمورها را تقویت می کنند که تابع ویژگی های دینامیکی رسوب است. از سوی دیگر یکی از جنبه های رایج آسیب لرزه ای، خطر حرکت های دامنه ای یا گسیختگی دامنه ها در تمامی سطوح شیب دار در هنگام وقوع زلزله است که در اثر آن آسیب وارد می شود (حسن زاده و همکاران، ۱۳۸۹). شیب زمین ارتباط مستقیم با حرکات دامنه ای دارد. هرچه شیب کمتر باشد خطر حرکت های دامنه ای زمین و آسیب ناشی از آن کمتر خواهد بود. معیار نزدیکی تأسیسات خطر آفرینی مانند ایستگاه های پمپ بنزین می توانند در هنگام بحران، آسیب جدی به ساختمان های مدارس را سبب شوند. معیار نوع مصالح و سازه تأثیر مهمی در چگونگی پایداری ساختمان ها بر عهده دارد. اسکلت های فلزی و بتن مسلح نسبت به سایر مصالح آسیب پذیری کمتری داشته و حتی در صورت تخریب، خسارت ایجاد شده در آنها کمتر است. با وجود مصالح مقاوم تر درصد آسیب پذیری مدارس کمتر خواهد شد و البته در به کارگیری مصالح بایستی سعی گردد از مصالح سبک تر استفاده گردد تا در صورت خراب شدن آسیب کمتری رخ دهد.

اقتصادی از پیش اندیشیده و مطلوب باشد و این فضاها در نقاط مناسب مکان یابی شوند آثار مثبت تری بر ارتقای کیفی آموزشی و نیز سلامت روحی و جسمی دانش آموزان خواهد داشت (Bukhari & Noordin, 2010, p10).

## ۲-۱- مدل آسیب پذیری مراکز آموزشی

آسیب پذیری در حالت کلی انواع مختلفی دارد که عبارتند از آسیب پذیری کالبدی، اجتماعی، اقتصادی و محیطی (Ahsanand & Warner, 2014). این تحقیق از نوع آسیب پذیری کالبدی است. با توجه به اینکه عوامل مختلفی در آسیب پذیری ساختمان های مراکز آموزشی (مدارس) دخیل هستند و بسیاری از شاخص های مؤثر در آسیب پذیری کالبدی ماهیت مکانی دارند، بنابراین مدل ارزیابی آسیب پذیری در این تحقیق، از نوع مدل های چند شاخصه و مبتنی بر GIS است، به عبارتی یک مدل GIS-MADM می باشد. ارزیابی تصمیم گیری چند معیاره انواع مختلفی دارند که در یک دسته بندی کلی می توان آنها را به دو دسته مدل های تصمیم گیری چند شاخصه و مدل های تصمیم گیری چند هدفه تقسیم نمود. در تصمیم گیری چند هدفه، چندین هدف به طور هم زمان جهت پهنه شدن و تولید گزینه برتر مورد توجه قرار می گیرند، در حالی که در تصمیم گیری چند شاخصه، انتخاب بهترین گزینه از بین گزینه های موجود یا ارزیابی گزینه ها مد نظر است (Juan et al., 2013, p548). تفاوت اصلی مدل های تصمیم گیری چند هدفه با مدل های تصمیم گیری چند شاخصه در آن است که اولی در فضای تصمیم گیری پیوسته و دومی در فضای تصمیم گیری گسسته تعریف می گردند (Ferretti, 2012, p4). نیاز به تلفیق سامانه GIS با روش های تصمیم گیری چند معیاره لازم و ضروری است و موجب افزایش قابلیت های GIS برای حل مسائل مکانی، به عنوان یک سامانه پشتیبان تصمیم گیری مکانی می گردد (غفاری و همکاران، ۱۳۸۹، ص ۶۵). یکی از ابزارهای پشتیبان تصمیم گیری گروهی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است که می تواند تأثیر متقابل و مشارکت افراد در تصمیم گیری را افزایش دهد (قدسی پور، ۱۳۸۷، ص ۱۰۴).

جدول ۱- معیارهای مربوط به مقاومت زمین در منطقه.

معیارهای مطلوبیت	ردیف	معیار	طبقه
معیارهای مقاومت زمین	۱	حرکت‌های دامنه‌ای بر اساس شیب زمین	گسیختگی کم (شیب کمتر از ۵ درصد)
			گسیختگی متوسط (شیب ۵ تا ۱۰ درصد)
			گسیختگی زیاد (شیب بیش از ۱۰ درصد)
معیارهای مقاومت زمین	۲	خطر روانگرایی بر اساس عمق آب زیرزمینی و زمین ماسه‌ای	عمق کمتر از ۵ متر
			عمق بین ۵ تا ۱۰ متر
			عمق بیشتر از ۱۰ متر
معیارهای سازه‌ای	۳	جنبش زمین بر اساس بافت خاک و رسوبات	شن
			رس
			ماسه
معیارهای سازه‌ای	۱	نوع مصالح و سازه	فلزی و بتنی
			آجری
			خشتی و گلی
معیارهای سازه‌ای	۲	قدمت ساختمان	زیر ۱۰ سال ساخت
			۱۰ تا ۲۰ سال ساخت
			بالای ۲۰ سال ساخت
معیارهای سازه‌ای	۳	ارتفاع (تعداد طبقات) ساختمان‌ها	۱ طبقه
			۲ تا ۴ طبقه
			بیش از ۴ طبقه

(Hartman, 2007, p22). تجدید نظر اعضاء تا جایی ادامه می‌یابد که میان آنها اتفاق نظر حاصل شود. روش اجرای دلفی شامل یک پیمایش دو یا چند دوری است که در دور اول نظرات کارشناسان خبره و اهل فن در زمینه مورد تحقیق دریافت می‌شود. این کارشناسان با توجه به ماهیت، عملکرد و اهمیت متغیرها، آنها را به صورت زوجی مقایسه نموده و ارزش‌دهی می‌نمایند. در دور دوم، نتایج دور اول در دسترس مشارکت‌کنندگان قرار می‌گیرد. به طوری که آنها بتوانند در صورت تمایل ارزیابی‌های اولیه خود را تعدیل کنند تا به نظرات قبلی خود مطالبی اضافه نمایند (ابراهیمیان و همکاران، ۱۳۹۳، ص ۸).

۲-۲-۲- روش تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس (IHWP)  
تخمین قابلیت آسیب‌پذیری تحت تأثیر ابهامات و عدم قطعیت‌ها قرار دارد زیرا محاسبه میزان آسیب‌پذیری در گذشته با استفاده از مدل بولین (Boolean) به معیارهای

همچنین هرچه قدمت ساختمان مدارس بیشتر، احتمال تخریب ساختمان‌های آنها زیادتر است. شاخص مهم دیگر ارتفاع ساختمان‌های مدارس است که این معیار با تعداد طبقات ساختمان‌های آنها سنجیده می‌شود. هرچه ارتفاع ساختمان بیشتر باشد احتمال آسیب‌پذیری بیشتر خواهد بود.  
برای تعیین معیارهای مؤثر جهت وزن‌دهی در روش AHP، یکی از روش‌ها، روش دلفی است.

#### ۲-۲-۱- روش دلفی

روش دلفی در دهه ۵۰ میلادی توسط شرکت رند در سانتا مونیکا در ایالت کالیفرنیا توسعه یافته است (Cuhls, 2007). این روش که اولین بار در زمینه پیش‌بینی به کار رفت، وسیله‌ای برای نگاه به آینده بود و از این‌رو نام دلفی بر آن نهاده شد. روش دلفی به‌عنوان جایگزینی برای مصاحبه چهره به چهره مورد استفاده قرار می‌گیرد

کشور کنیا بررسی نمودند. آنها در تحقیق خود به‌ضرورت استفاده هم‌زمان از تحلیل‌های فضایی در GIS و همچنین کاربرد وسیع آنها اشاره نمودند (Talam & Ngigi, 2015). امیر جمال (۲۰۱۶) مدارس را در کشور تاجیکستان با استفاده از GIS مکان‌یابی نمود و به این نتیجه رسید که مکان‌یابی مدارس در هر منطقه خود ترکیبی است از معیارهای صنعتی، اقتصادی، محیطی و اجتماعی-سیاسی (Amir Jamal, 2016). پرون و همکاران (Perrone et al., 2020) در تحقیق خود مواردی همچون آسیب‌پذیری ساختمان مدارس، انعطاف‌پذیری لرزه‌ای مبتنی بر منحنی‌های آسیب‌پذیری مدارس، مطالعه میدانی ریسک لرزه‌ای ساختمان‌های مدارس و شاخص انعطاف‌پذیری لرزه‌ای با استفاده از مدل‌های عددی را بررسی کردند. امانپور و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه خود آسیب‌پذیری مدارس ابتدایی کلان‌شهر اهواز را از منظر پدافند غیرعامل بررسی نمودند. ایشان آسیب‌پذیری مدارس را از نظر مقاوم‌سازی با معیارهایی مانند سازگاری کاربری‌ها و نوع سازه بیان نمودند. یغفوری و همکاران در سال ۱۴۰۰ به ارزیابی کیفی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مدارس شهر ایرانشهر پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که در صورت مقاوم‌سازی مناسب مدارس می‌توان از آنها به‌عنوان پایگاه‌های امداد رسانی استفاده کرد. اسدپور و همکاران در سال ۱۴۰۰ معیارهای احداث مکان‌های مناسب مدارس سبز را در راستای افزایش پایداری محیطی در شهر یزد بررسی نمودند. آنها به افزودن معیارهایی مانند شیب زمین، استفاده از قطعات نیازمند مرمت و بازسازی و جهت‌گیری ساختمان مدارس در برابر نور و باد تأکید کردند.

پیرزاده و نعمت‌اللهی بناب (۱۴۰۰) وضعیت برخورداری و نحوه توزیع فضایی مراکز آموزش ابتدایی در شهر اردبیل با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی AHP و نرم‌افزار GIS مورد بررسی قرار دادند که نتایج پژوهش نشان داده است که الگوی توزیع کاربری‌های آموزشی ابتدایی در شهر اردبیل به‌صورت تصادفی و دارای همبستگی ضعیف فضایی بین کاربری‌های آموزشی ابتدایی می‌باشد و از لحاظ شعاع دسترسی، مدارس مقطع ابتدایی شهر اردبیل، تمام سطح شهر را پوشش نمی‌دهند. شیرزاده و یزدان‌پناه

آسیب‌پذیری اجازه ظهور به‌صورت یک طیف پیوسته نمی‌دهد؛ به همین دلیل از مدل IHWP استفاده شده است. روش IHWP ترکیبی از روش منطق فازی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی یا AHP است (حبیبی، ۱۳۸۷، ص ۳۱). پس از مشخص و طبقه‌بندی معیارهای مؤثر بر آسیب‌پذیری فضاهای آموزشی (مدارس) با استفاده از روش دلفی، برای مشخص نمودن وزن و طبقه‌بندی هر معیار که به طبقه‌بندی نقشه لایه‌های آن معیار در محیط GIS منتهی خواهد گردید. از روش IHWP طبق مراحل زیر استفاده می‌گردد (زنگنه، ۱۳۹۴، ص ۱۱۷):

- تعیین ماتریس داده‌ها و اهمیت و رتبه آنها (تعیین معیارهای مؤثر بر آسیب‌پذیری مدارس)
- محاسبه امتیاز و تهیه نقشه هر یک از معیارها: در این مرحله هر شاخص با توجه به رتبه معکوس به‌دست آمده طبق روابط (۱) و (۲) طبقه‌بندی می‌شود.

$$x = \frac{D}{N} \quad (1)$$

$$j = D - (N - i)x \quad (2)$$

که در آنها  $x$  امتیاز اولیه هر شاخص،  $D$  امتیاز هر معیار بر اساس روش دلفی،  $N$  تعداد طبقات هر شاخص،  $j$  امتیاز به‌دست‌آمده برای طبقه‌بندی‌های هر معیار و  $i$  رقم اختصاص داده شده برای طبقه‌بندی‌های مختلف هر معیار می‌باشد.

- تلفیق نقشه‌ها جهت تعیین نقشه نهایی آسیب‌پذیری مدارس

با انجام طبقه‌بندی برای هر معیار در هر لایه مطابق با منطق فازی آسیب‌پذیرترین مناطق عدد ۱ و پایدارترین مناطق عدد صفر را کسب می‌نمایند. در این مرحله متناسب با معکوس رتبه کسب شده، وزن‌دهی به کلاس‌های هر لایه صورت می‌گیرد و در نهایت با میانگین‌گیری هندسی هر یک از لایه‌های اطلاعاتی ایجاد شده نقشه‌ها تلفیق می‌گردند.

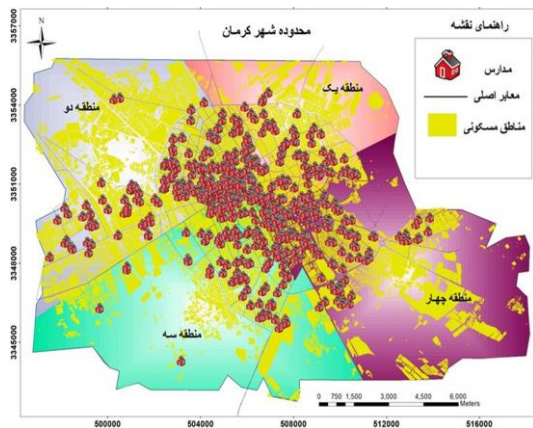
### ۳- پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر، مطالعات بسیاری در زمینه موضوع تحقیق حاضر انجام گرفته است که در ادامه، برخی از آنها بررسی می‌شود. تالام و نگیگی (۲۰۱۵) با ادغام GIS و مدل‌های چند معیاره، مکان‌های مناسب جهت احداث دبستان‌ها را در

سطح دریا قرار گرفته است. شهر کرمان دارای قدمت طولانی بوده و از نظر تقسیمات شهرداری دارای چهار منطقه شهری است.

#### ۵- روش تحقیق

تحقیق پیشرو به لحاظ ماهیت مطالعه از نوع موردی و به لحاظ هدف از انواع پژوهش‌های کاربردی است. گروه هدف مطالعه، مدارس موجود شهر کرمان می‌باشند. معیارهایی که در این تحقیق برای ارزیابی آسیب‌پذیری مراکز آموزشی (مدارس) انتخاب گردیدند شامل: معیارهای مقاومت سازه‌ای و مقاومت زمین مراکز آموزشی می‌باشند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهر کرمان (منبع: نویسندگان).

مراحل کلی انجام این تحقیق در شکل ۲ ارائه شده است. در این تحقیق از نقشه‌های شهری به مقیاس ۱/۲۰۰۰ که به روش نقشه‌برداری هوایی (فتوگرامتری) همراه با نقشه‌برداری زمینی تهیه شده‌اند، استفاده گردید. در جدول ۲ داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر ارائه شده است.

جدول ۲- داده‌های مورد استفاده در تحقیق.

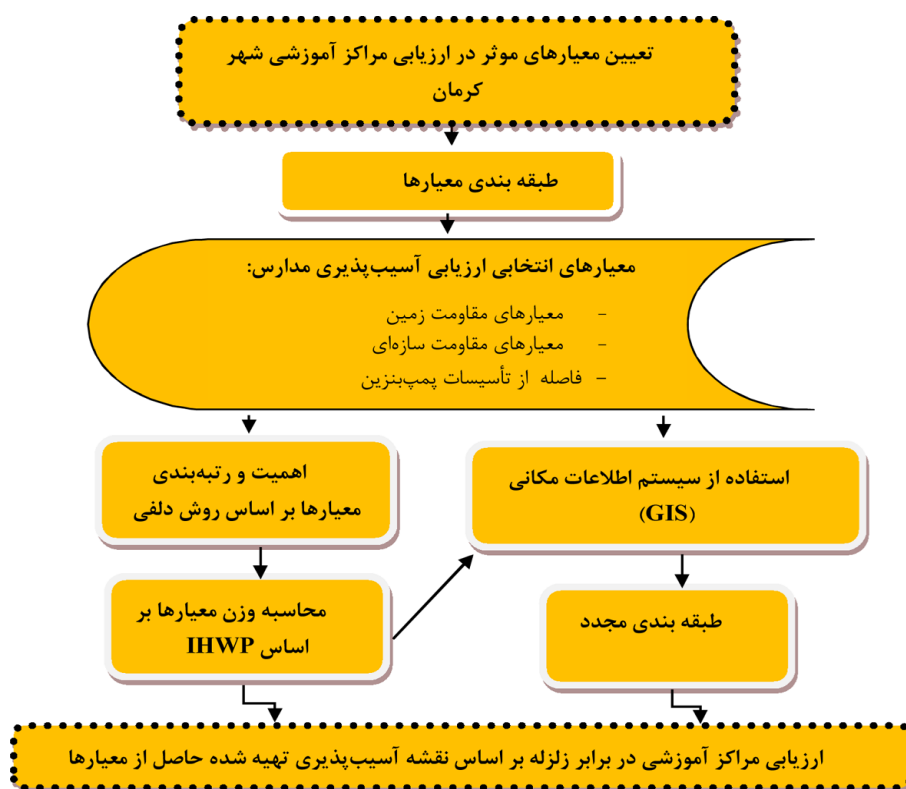
ردیف	داده (نقشه‌ها)	مقیاس	سال تهیه	منبع
۱	عکس‌های هوایی	۱/۵۰۰۰	۱۳۸۷	سازمان نقشه‌برداری کشور
۲	نقشه معابر شهری	۱/۲۰۰۰	۱۳۹۰	شهرداری کرمان
۳	نقشه کاربری اراضی شهری	۱/۲۰۰۰	۱۳۹۰	شهرداری کرمان

(۱۴۰۱) در تحقیقی با عنوان مکان‌یابی بهینه فضای آموزشی با استفاده از روش سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات مکانی، مدارس شهر یزد را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه مطالعه‌ی آنها این بود که به علت تراکم ساخت‌وساز بیش از حد در مناطقی از شهر یزد، عدم دسترسی به مدارس کمتر شده و در اولویت تأسیس مدارس قرار دارند. اخویسی (۱۴۰۱) به بررسی احتمالاتی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مدارس شهر کرمانشاه تحت اثر زلزله‌های محتمل پرداخت و نتایج این بود که رفتار و آسیب‌پذیری سازه ساختمان‌های مدارس به مقدار زیادی متأثر از نوع و فاصله ساختگاه از گسل مسبب زلزله است.

با بررسی پژوهش‌های مذکور می‌توان پی برد که در اغلب آنها مکان‌های مناسب جهت احداث مراکز جدید ارزیابی شده بدون توجه به معیار ایمن بودن آنها، لذا در این راستا تحقیق پیشرو نسبت به مطالعات پیشین، آسیب‌پذیری مدارس شهر کرمان را در برابر زلزله بر اساس معیارهای جدیدی مانند مقاومت سازه‌ای و مقاومت زمین که در ایمن بودن آنها مؤثرند و همچنین معیار فاصله از مراکز انفجاری مانند پمپ‌گاز/بنزین را ارزیابی نموده و سپس از روش تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس یا *IHWP* اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مراکز آموزشی (مدارس) نموده است.

#### ۴- شناخت محدوده پژوهش

شهر کرمان در دشتی نسبتاً وسیع و در محدوده‌ای با عرض جغرافیایی  $30^{\circ}14'$  تا  $30^{\circ}19'$  و طول جغرافیایی  $57^{\circ}$  تا  $57^{\circ}7'$  شمالی واقع شده است. از نظر جمعیتی در رده شهرهای بالای پانصد هزار نفر کشور و از نظر ناحیه‌ای، به‌عنوان مهم‌ترین و بزرگ‌ترین شهر جنوب شرق، عملکردی فرا منطقه‌ای دارد. این شهر با ارتفاع ۱۷۰۰ تا ۱۸۰۰ متر از



شکل ۲- روش و مراحل کلی انجام تحقیق.

برای رتبه‌بندی معیارها، وزن و طبقه‌بندی هر کدام از معیارهای مورد نظر انجام شد. هم‌اکنون یکی از مشکلاتی که شهر کرمان با آن مواجه شده سطح آب‌های زیرزمینی است. در این تحقیق، برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری مدارس شهر کرمان در برابر خطر روانگرایی، از نقشه سطح ایستایی آب‌های زیرزمینی سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان و نقشه زمین‌شناسی منطقه (نقشه بافت رسوبات سطحی) استفاده گردیده است (شکل ۳).

همچنین در تحقیق حاضر، بر اساس نقشه جنبش زمین در منطقه مورد مطالعه نقشه آسیب‌پذیری مدارس شهر کرمان نیز تهیه شده است (شکل ۴)؛ بنابراین در این تحقیق برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری مدارس شهر کرمان در برابر معیار حرکت‌های دامنه‌ای، ابتدا، اقدام به تهیه نقشه شیب شد. برای این منظور، با استفاده از ۴۲۰ نقطه کنترل ارتفاعی برداشت شده در سطح منطقه با درون‌یابی، مدل رقومی ارتفاعی تهیه و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.2 نقشه شیب شهر کرمان آماده شد.

## ۶- نتایج و بحث

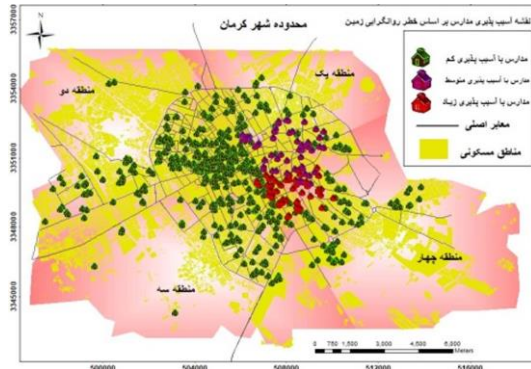
پس از گردآوری داده‌های مورد نیاز، برای ارزیابی آسیب‌پذیری مدارس منطقه مورد مطالعه، فهرستی از عناصر آسیب‌پذیر مراکز آموزشی (مدارس) تهیه و به‌عنوان معیارهای آسیب‌پذیری مراکز آموزشی تعیین شدند. سپس با استفاده از روش دلفی این فهرست، نهایی و تکمیل گردید. در شکل ۱ معیارهای مورد نظر و مراحل انجام تحقیق ذکر شده است.

### ۶-۱- تهیه نقشه آسیب‌پذیری مراکز آموزشی (مدارس) با استفاده از معیارهای انتخاب شده

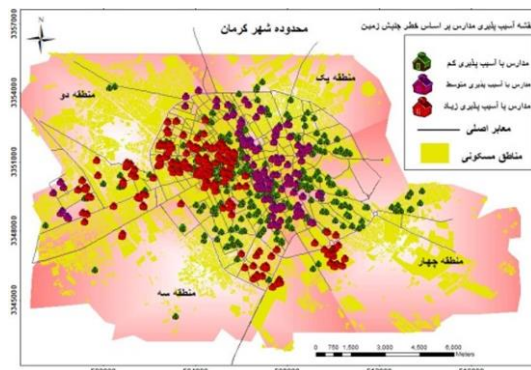
در این تحقیق از روش دلفی که نظرخواهی از ۱۰ کارشناس خبره و آشنا به مهندسی سازه و زمین‌شناسی می‌باشد، استفاده شد. این کارشناسان با توجه به ماهیت، عملکرد و اهمیت متغیرها، آنها را به‌صورت زوجی مقایسه نموده و ارزش‌دهی نمودند. بر این اساس بعد از تعیین فهرستی از عناصر آسیب‌پذیر در قالب سه معیار اصلی، در مرحله بعد



خواهد شد. همچنین هرچه قدمت ساختمان مدارس بیشتر باشد، احتمال تخریب ساختمان زیادتر بوده و وزن زیادتری به آن تعلق می‌گیرد. معیار مهم دیگر ارتفاع ساختمان مدارس است که این معیار با تعداد طبقات ساختمان مدارس سنجیده می‌شود. هرچه ارتفاع ساختمان بیشتر باشد احتمال آسیب‌پذیری بیشتر می‌شود. در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ نقشه آسیب‌پذیری مدارس شهر کرمان بر اساس معیار ویژگی‌های ساختمانی ارائه گردیده است. فاصله مدارس از تأسیسات بحران‌زا و انفجاری مانند ایستگاه‌های پمپ‌بنزین و گاز نقش بسزایی در آسیب‌پذیری آنها دارد یعنی علاوه بر آلودگی هوا و سروصدای زیاد ناشی از ترافیک و شلوغی وسایل نقلیه، در هنگام بحران زلزله نیز به مدرسه‌ای که فاصله کمی دارند آسیب جدی وارد می‌نمایند. بر اساس ضوابط مکان‌یابی مدارس سازمان نوسازی مدارس وزارت آموزش و پرورش، حداقل فاصله از تأسیسات بحران‌زا ۲۵۰ متر است (سازمان نوسازی توسعه و تجهیز مدارس، ۲۵۰، ص ۲۶). بر این اساس در تحقیق پیشرو برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری مدارس شهر کرمان از تابع تحلیلی بافرینگ در محیط GIS استفاده نموده و مدارس منطقه مورد مطالعه را در سه گروه وزن‌دهی و طبقه‌بندی شد (شکل‌های ۵ و ۶). بنابراین پس از تعیین نقشه ۷ معیار آسیب‌پذیری مدارس در سه طبقه آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد، رتبه و وزن هریک از معیارها مطابق روش *IHWP* تعیین گردید (جدول ۳). بر این اساس بااهمیت‌ترین شاخص از نظر اهمیت آسیب‌پذیری در مقابل زلزله عدد ۷ و کم‌اهمیت‌ترین عدد ۱ را به خود اختصاص می‌دهد. در مرحله بعد هر معیار با توجه به رتبه معکوس کسب شده، با استفاده از روابط ۱ و ۲ طبقه‌بندی گردیدند. با انجام این طبقه‌بندی برای هر معیار در هر لایه مطابق منطق فازی آسیب‌پذیرترین مناطق عدد ۱ (فازی کامل) و پایدارترین مناطق عدد صفر (بدون فازی) را کسب می‌نمایند. پس از تعیین وزن هر معیار و طبقه‌بندی آنها (جدول ۳)، نقشه نهایی ارزیابی آسیب‌پذیری مدارس موجود شهر کرمان از تلفیق (میانگین‌گیری هندسی) نقشه‌های معیارهای ذکر شده، بر اساس روش *IHWP* تهیه گردید (شکل ۱۰).



شکل ۳- نقشه طبقه‌بندی مدارس منطقه مورد مطالعه بر اساس خطر روانگرایی زمین (منبع: نویسندگان).

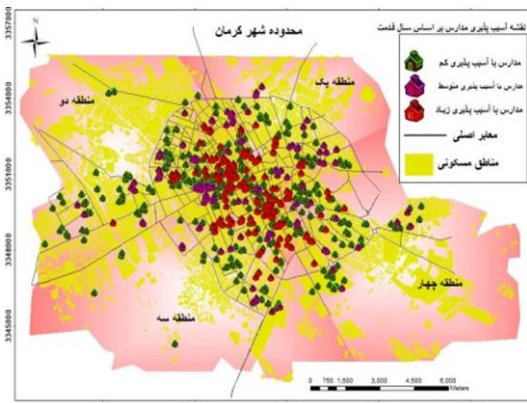


شکل ۴- نقشه طبقه‌بندی مدارس منطقه مورد مطالعه بر اساس خطر جنبش زمین (منبع: نویسندگان).

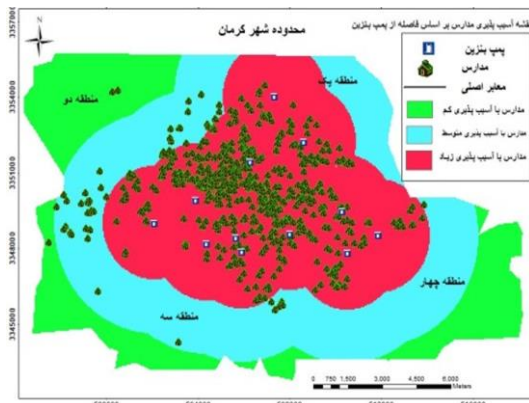
بعد از تهیه نقشه شیب با توجه به اینکه هرچه شیب کمتر باشد آسیب‌پذیری مدارس کمتر می‌شود اقدام به تهیه نقشه آسیب‌پذیری مدارس منطقه در برابر خطر حرکت‌های دامنه‌ای گردید (شکل ۱۰). معیار ویژگی‌های ساختمانی مدارس در این تحقیق با پارامترهای ارتفاع، قدمت و نوع مصالح استفاده شده در ساختمان‌های مدارس، در منطقه مورد نظر سنجیده شده است. در این تحقیق نقشه‌های مورد نیاز این معیار، از روی نقشه‌های طرح تفصیلی سال ۱۳۸۷ شهر کرمان استخراج گردیده‌اند. معیار نوع مصالح و سازه مدارس تأثیر مهمی در چگونگی پایداری ساختمان‌های آنها بر عهده دارد اسکلت‌های فلزی و بتن مسلح نسبت به سایر مصالح آسیب‌پذیری کمتری داشته و حتی در صورت تخریب، خسارت ایجاد شده در آنها کمتر است. با وجود مصالح مقاوم‌تر درصد آسیب‌پذیری کمتر



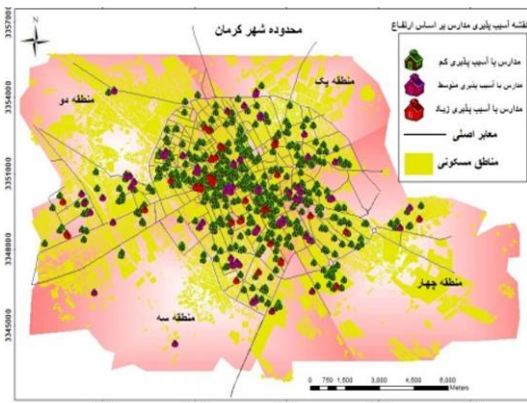
ارزیابی آسیب پذیری مدارس با رویکرد پدافند غیرعامل در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر کرمان)



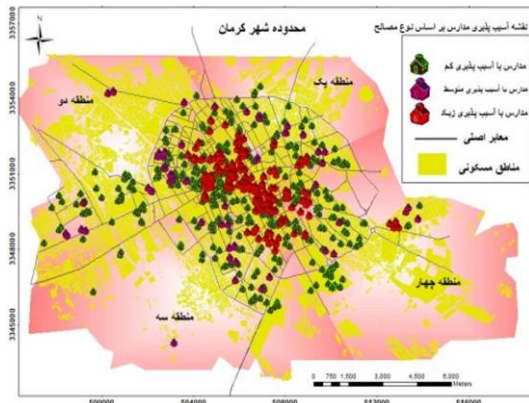
شکل ۷- نقشه طبقه بندی مدارس منطقه مورد مطالعه بر اساس معیار قدمت (منبع: نویسندگان)



شکل ۵- نقشه پراکندگی و فاصله مدارس از ایستگاه های پمپ بنزین در منطقه مورد مطالعه (منبع: نویسندگان).



شکل ۸- نقشه طبقه بندی مدارس منطقه مورد مطالعه بر اساس معیار ارتفاع (منبع: نویسندگان).



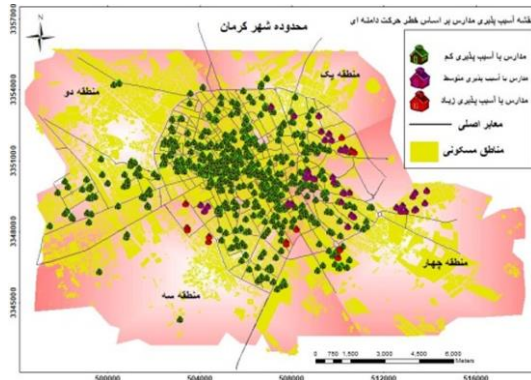
شکل ۶- نقشه طبقه بندی مدارس منطقه مورد مطالعه بر اساس نوع مصالح (منبع: نویسندگان).

جدول ۳- رتبه، وزن و طبقه بندی معیارهای انتخاب شده جهت تعیین ارزیابی آسیب پذیری مدارس موجود شهر کرمان بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس (IHWP).

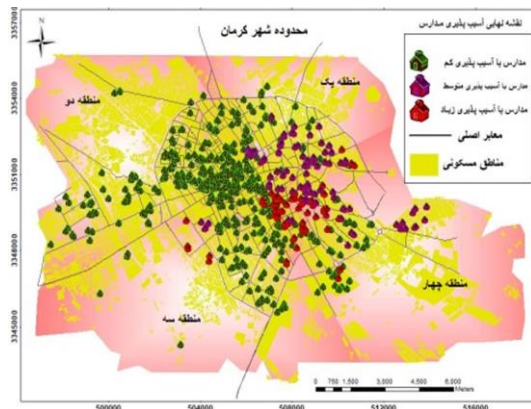
معیار	رتبه دلفی	رتبه معکوس	تعداد طبقات	دامنه طبقات متغیرها	وزن طبقات در روش IHWP
خطر روانگرایی زمین	۱	۷	۳	۲/۳۳	۲/۳۳
جنبش زمین	۲	۶	۳	۲	۲
فاصله ساختمان ها از ایستگاه های پمپ بنزین	۳	۵	۳	۱/۶۶	۱/۶۶
نوع مصالح و سازه	۴	۴	۳	۱/۳۳	۱/۳۳
قدمت ساختمان ها	۵	۳	۳	۱	۱
ارتفاع ساختمان ها	۶	۲	۳	۰/۶۶	۰/۶۶
حرکات دامنه ای زمین	۷	۱	۳	۰/۳۳	۰/۳۳

## ۷- نتیجه گیری

با توجه به حساسیت مراکز آموزشی (مدارس)، بررسی آسیب پذیری و تحلیل عملکرد آنها قبل از وقوع زلزله ضروری می باشد. نتایج تحقیق حاضر با توجه به نقشه نهایی ارزیابی آسیب پذیری مدارس شهر کرمان و نمودار شکل ۱۱ نشان می دهد که ۲۳ درصد مدارس شهر کرمان دارای آسیب پذیری بالا، ۳۱ درصد آسیب پذیری متوسط و ۴۶ درصد آسیب پذیری پایین می باشند مدارس با آسیب پذیری بالا عمدتاً در مرکز و منطقه ۱ شهر کرمان واقع شده اند. دلیل این امر را می توان با توجه به تحقیق حاضر، قدیمی بودن و بالا آمدن آب های زیرزمینی در این منطقه دانست که باید در برنامه ریزی ها مد نظر قرار گیرد. همچنین پراکنش تأسیسات شهری خطرناک به خوبی در شهر کرمان انجام نگرفته است. در ضمن، مقاومت زمین از نظر خطر روانگرایی و جنبش زمین در مناطق ۱ و ۳ وزن بیشتری را دارد. تعیین اهمیت نسبی (وزن) معیارها به کمک فرآیند سلسله مراتبی معکوس یا *IHWP* نشان داد که معیار خطر روانگرایی بیشترین اهمیت را دارد. معیار حرکت های دامنه ای از کمترین اهمیت در تعیین سطح آسیب پذیری برخوردار می باشد. می توان نتیجه گرفت که آسیب پذیری مدارس با رویکرد بحران زلزله، معلول یک معیار آسیب پذیری خاص نیست بلکه برآیند مجموعه ای از عوامل و معیارهاست که در کنار هم، تحلیل آسیب پذیری لرزه ای مدارس را فراهم می سازند. در مقایسه این تحقیق با مطالعات پیشین مانند تحقیق امان پور، یغفوری و اخویسی، مشاهده می شود علاوه بر استفاده از معیارهای جدیدتر مانند معیارهای مربوط به مقاومت زمین در مدل کردن پهنه بندی آسیب پذیری مدارس و استفاده از میانگین هندسی در ترکیب نقشه ها، کارایی و دقت مدل را در تهیه نقشه نهایی آسیب پذیری مدارس منطقه مورد مطالعه، افزایش می دهد. از موارد مهم دیگر در احداث مدارس که موجب بروز مسائل و مشکلات فراوانی در اکثر شهرها شده است، نامشخص بودن ضوابط و معیارهای علمی و فنی برای مکان یابی مدارس است. با توجه به عوامل زیادی که در انتخاب مکان مناسب نقش دارد، رسیدن به این مسئله با روش های سنتی تا حدود زیادی دشوار است اما با استفاده از سیستم های اطلاعات

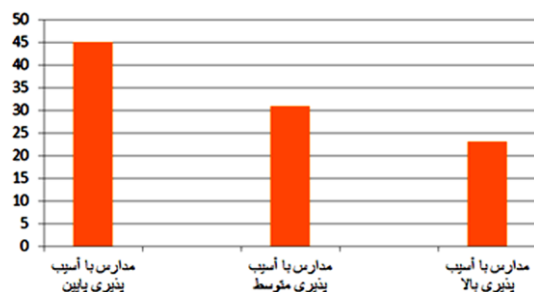


شکل ۹- نقشه طبقه بندی مدارس منطقه مورد مطالعه بر اساس معیار خطر حرکات دامنه ای زمین (منبع: نویسندگان).



شکل ۱۰- نقشه نهایی پهنه بندی ارزیابی آسیب پذیری مدارس شهر کرمان بر اساس روش GIS-IHWP (منبع: نویسندگان).

در ادامه، درصد آسیب پذیری مدارس منطقه مورد مطالعه در شکل ۱۱ با توجه به نقشه نهایی آسیب پذیری نشان داده شده است.



شکل ۱۱: نمودار درصد آسیب پذیری مدارس شهر کرمان (منبع: نویسندگان).

تهیه طرح‌های مدیریت بحران و مطالعات کاهش آسیب‌پذیری مدارس شهر کرمان ارائه می‌گردد:

- ۱- رعایت حریم مناسب کاربری‌های خطرآفرین نظیر پمپ‌بنزین و گاز نسبت به مدارس،
- ۲- بازنگری در توزیع کاربری‌های آموزشی در طرح جامع و تفصیلی شهر کرمان،
- ۳- ایجاد و تعریض نمودن معابر شهری در مناطقی که مدارس آسیب‌پذیری بالایی دارند جهت دسترسی‌های سریع و مناسب به مناطق ایمن،
- ۴- پیشنهاد می‌شود برای مطالعات آتی مکان‌یابی مراکز آموزشی (مدارس)، معیارهای مقاومت زمین به‌عنوان یک محدودیت به کار روند،
- ۵- می‌توان برای امداد و نجات سریع‌تر مصدومان در هنگام بحران زلزله، به همراه تعیین آسیب‌پذیری مدارس، تحلیل‌های شبکه معابر مانند پیدا نمودن کوتاه‌ترین و مناسب‌ترین مسیر را نیز به کار برد.

مکانی (GIS) و قابلیت‌های این سیستم، می‌توان به نتایج مطلوب‌تری دست یافت؛ بنابراین لازم است تا مسئولان و برنامه‌ریزان شهری در ارزیابی وضع موجود و مکان‌یابی مدارس در شهرها از GIS استفاده نمایند. با توجه به مدل ارزیابی پیشنهادی این تحقیق، با توجه به تحلیل توأمان معیارها در ارزیابی آسیب مدارس، تنوع معیارهای انتخابی و تشابهات کالبدی مدارس در اکثر نقاط کشور، می‌تواند از کارآیی و مطلوبیت لازم برخوردار و قابل کاربرد برای سایر مناطق باشد. از کاربردهای مدل مذکور می‌توان به ارزیابی‌های قبل از اجرای طرح‌های توسعه مناطق جدید شهری و یا شهرک‌های جدید با هدف تعیین ضوابط تراکم جمعیتی و ساختمانی، قوانین کنترل حداکثر ارتفاع ساختمان مدارس و الگوی کاربری زمین اشاره نمود. حتی می‌توان تا حدودی در بافت‌های قدیمی با مرمت ساختمان مدارس، قوانین و مقررات مناسب با استانداردهای لرزه‌ای را اجرا نمود. از روند انجام این پژوهش پیشنهادهای زیر جهت

## ۸- مراجع

- [۱] ابراهیمیان قاجاری، یاسر؛ آل شیخ، علی اصغر؛ مدیری، مهدی؛ حسنوی، رضا؛ عباسی، مرتضی (۱۳۹۳). مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری با استفاده از روش‌های دلفی و تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط GIS (مطالعه موردی: منطقه ۶ شهر تهران، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۳، شماره ۹۱، صفحات ۲۰-۵).
- [۲] آزاد خوانی، پاکزاد و نوری‌زاد، خدیجه، (۱۳۹۵). بررسی توزیع مکانی مراکز آموزش عالی شهر ایلام و تعیین پهنه‌های مناسب به‌منظور ارائه الگوی مطلوب، فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس، دوره ۸، شماره بیست و هفت، صفحات ۵۸-۳۰.
- [۳] اسدپور، هاجر، طاهریان، بهناز و اسدپور، علی (۱۴۰۰). کاربست معیارهای مکان‌یابی مدارس سبز در راستای افزایش پایداری محیطی. مجله معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، شماره سی و هفت، صفحات ۲۳۸-۲۲۳.
- [۴] اخویسی، امیر هوشنگ (۱۴۰۱). بررسی احتمالاتی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مدارس بتنی کرمانشاه. فصلنامه پیشرفت و توسعه استان کرمانشاه، دوره ۲، شماره ۱، صفحات ۸۵-۶۲.
- [۵] امان‌پور، سعید؛ رحمانی، پیروز؛ حسینی شه‌پریان، نبی‌الله و فروزانی، نورالدین (۱۳۹۳). ارزیابی موقعیت مکانی فضاهای آموزشی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. دوفصل‌نامه مطالعات برنامه‌ریزی آموزشی، دوره ۴، شماره هفت، صفحات ۵۴-۳۱.
- [۶] امان‌پور، سعید؛ محمدی ده‌چشمه، مصطفی؛ پرویزیان، علی (۱۳۹۷). سنجش آسیب‌پذیری مراکز آموزشی از منظر پدافند غیرعامل. فصل‌نامه جغرافیا و مطالعات محیطی، دوره ۷، شماره بیست و هفت، صفحات ۶۰-۴۳.
- [۷] پیرزاده، بابک و نعمت‌اللهی بناب. سیمین دخت (۱۴۰۰). بررسی و تحلیل وضعیت برخورداری و نحوه توزیع فضایی مراکز آموزش ابتدایی در شهر اردبیل. دومین همایش بین‌المللی شهر هوشمند، چالش‌ها و راهبردها، شیراز.
- [۸] پیری، فاطمه؛ امانپور، سعید و عباسپور، مریم (۱۳۹۳). مکان‌یابی مدارس با استفاده از نرم‌افزار GIS و مدل AHP. ششمین کنفرانس ملی برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، ایران، مشهد.
- [۹] جهانگیری، کتابیون و خردمند، مهناز (۱۳۹۳). ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌ای مراکز آموزشی در برابر زلزله و شناسایی اماکن امن جهت سرپناه اضطراری پس از زلزله. فصلنامه علمی- پژوهشی امداد و نجات، سال ششم، شماره ۲، صفحات ۱۵-۱.
- [۱۰] حبیبی، کیومرث (۱۳۸۷). تعیین عوامل ساختمانی مؤثر در آسیب‌پذیری بافت کهن شهری زنجان با استفاده از GIS و FUZZY LOGIC. نشریه هنرهای زیبا، شماره ۳۳، صفحات ۳۶-۲۷.
- [۱۱] حسن‌زاده، رضا؛ عباس‌نژاد، احمد؛ علوی، اکبر؛ شریفی تشنیزی، ابراهیم (۱۳۸۹). تحلیل خطر لرزه‌ای شهر کرمان با تأکید بر کاربرد GIS در ریز پهنه‌بندی مقدماتی درجه ۲. فصلنامه علمی- پژوهشی علوم زمین، سال بیست و یکم، شماره ۸۱، صفحات ۳۰-۲۳.
- [۱۲] زنگنه، محمد (۱۳۹۵). ارزیابی و تحلیل مخاطرات و راهکارها پدافند غیرعامل در شبکه راه‌های استان البرز با استفاده از روش‌های IHWP و SWOT. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۵، شماره ۹۸، صفحات ۱۲۸-۱۱۳.

- [۱۳] سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس (۱۳۸۵). ضوابط مکان‌یابی فضاهای آموزش و پرورش، معاونت فنی وزارت آموزش و پرورش.
- [۱۴] شیرزاده، محمدعلی و یزدان‌پناه، محمود (۱۴۰۱). مکان‌یابی بهینه فضای آموزشی با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی. پنجمین همایش ملی و دومین همایش بین‌المللی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی در آمایش سرزمین، تهران.
- [۱۵] غفاری، سید امین؛ شفقی، سیروس؛ صالحی، نگین (۱۳۸۹). ارزیابی سازگاری کاربری اراضی شهری با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره فازی. نشریه مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال اول، شماره چهارم، صفحات ۷۶-۵۹.
- [۱۶] فرهودی، رحمت‌الله و نعمتی کوتنایی، ناهید (۱۳۸۹). بررسی و مکان‌یابی بهینه مراکز آموزشی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). فصلنامه کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی، سال اول، شماره دو، صفحات ۴۶-۲۷.
- [۱۷] قدسی‌پور، حسن (۱۳۸۷). فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP. چاپ ششم، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- [۱۸] یغفوری، علی، میری، سید محمد، یغفوری، حسین (۱۴۰۱). ارزیابی کیفی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مدارس شهر ابرانشهر. مجله علمی-پژوهشی مخاطرات طبیعی، دوره ۱۰، شماره ۲۹، صفحات ۲۰۲-۱۸۵.
- [19] Ahsan, N., Warner, J. (2014). The socioeconomic vulnerability index: A pragmatic approach for assessing climate change led risks, Case study: south-western coastal Bangladesh, International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol 8, June 2014, pp 32- 49.
- [20] Amir Jamal, I. (2016). Multi-Criteria GIS Analysis for School Site Selection in Gorno-Badakhshan Autonomous Oblast, Lund University, Tajikistan.
- [21] Bolary, J. (2005) Urban Environment Spatial Fragmentation and Social Segregation in Latin America: Where Does Innovation Lie? Habitat International, 29, pp 627-645.
- [22] Bukhari, Z., & Noordin, A. (2010). Spatial multi-criteria decision analysis for safe school site selection. International Geoinformatics Research and Development Journal, 1-12.
- [23] Cuhls, K. (2002). Delphi method. Fraunhofer Institute for system and Innovation Research, Munich Personal Repec Archive.
- [24] Ferretti, V. (2012). Integrating Multicriteria Analysis and Geographic Information Systems: a survey and classification of the literature, 74th Meeting of the European Working Group "Multiple Criteria Decision Aiding", pp 3-4.
- [25] Hartman, T. (2007). The Delphi method for graduate research. Journal of Information Technology Education, Vol. 6, pp. 18-24.
- [26] Juan, M., Sánchez-Lozano, Jerónimo Teruel-Solano, Pedro L. Soto-Elvira, M. Socorro García-Cascales (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 24, August 2013, pp 544-556.

- [27] Ishizaka, A. and Labib, A. (2011) Review of the main developments in the analytic hierarchy process, *Expert Systems with Applications*, University of Portsmouth, Portsmouth Business School, Richmond Building, Portland Street, Portsmouth PO1 3DE, United Kingdom. *Operational Research Society Ltd 0953-5543 OR Insight Vol. 22, 4, 201–220*.
- [28] Li, Xia, Yeh, Anthony Gar-On (2005). Integration of Genetic Algorithms and GIS for Optimal Location Search. *International Journal of Geographical Information Science*, 19, 581-600.
- [29] Moody Stephan & Edgell David. (2014). Planning Delaware's school needs issues of location, design and infrastructure.
- [30] Perrone, D., O'Reilly, G. J., Monteiro, R., & Filiatrault, A. (2020). Assessing seismic risk in typical Italian school buildings: From in-situ survey to loss estimation. *International Journal of Disaster-RiskReduction*, 44, 101448.
- [31] Talam, P. K., & Ngigi, M. M. (2015). Integration of GIS and Multicriteria Evaluation for School Site Selection - A Case Study of Belgut constituency. *Proceedings of the Sustainable Research and Innovation (SRI) Conference*, (pp. 138-149).
- [32] Vaidya, V., Gothankar, J., Pore, P., Patil, R., & Murarkar, S. (2018). Green school audit of twenty two schools in Pune city. *International Journal of Community Medicine and Public Health*, 5(2), 620-626.